

液晶数字显示发展动态

液晶组

(中国科学院上海有机化学研究所)

一、前言

液晶是一类有序流体的总称,主要是由一些具有特定分子结构类型的有机化合物所组成。估计每二百个有机化合物中就有一种能够形成液晶态。目前已知的液晶约有五千多种。液晶按其分子积聚状态的不同而分成向列型、胆甾型(见文末《名词浅释》1,2)和近晶型[关于这三种类型的特征,尚可参见本刊,1-2(1972),89—105;以及《科学实验》,-8(1972),32—33]。目前用于显示行业的液晶材料,主要是向列型液晶,但胆甾(zāi)型和近晶型液晶也已在这方面开始有所应用。

向列型液晶对电场十分敏感。当纯净的向列液晶中含有微量导电性杂质时,在电场下产生的微量电流使排列整齐的液晶分子发生骚动,导致折射率的连续变化,而在光学性质上就从光透射变为光散射,有字形电极的部份与周围无电极部份也就形成反差,达到数字显示目的。这种电光效应称为“动态散射效应”(《名词浅释》3)。如果只用纯净的向列型液晶(电阻率在 10^{11} 欧·厘米以上),而且液晶分子按照一定的表面处理而排列,则在电场较弱、基本上没有电流通过的情况下液晶分子就会在电场影响下发生有规律的排列变化,使入射光透过或不透过,即产生“光阀”的作用。这样,液晶显示器件上有字形电极的部分和没有字形电极的部分也同样会形成反差而达到数字显示的目的。这种电光效应称为向列型液晶的场效应。常用的场效应又有扭曲效应、垂直排列向畸变和宾主效应(《名词浅释》4,5,6)等几种类型。此外,用向列型液晶与胆甾型液晶的混合材料在电场控制下可产生“相转变效应”,在红外激光扫描下还可产生“热光效应”;近晶型液晶也可以产生类似的热光效应,都可以达到显示的目的(关于以上这些显示的原理和细节,可参看本文表1《电光和热光效应》部分和《名词浅释》)。

液晶显示与一般显示的一个主要区别在于,液晶

本身不是发光体,而只是通过散射、透射或不透射环境光,来达到调制光和显示的目的。环境光愈明亮,图象愈清楚,但在完全黑暗的环境下就不能显示。由于不发光,故激励能量要求较低,这就使液晶显示具有低功耗的特点。

随着电子工业的飞跃发展,工业生产的数控化和电子仪表的数字化已成为普遍的趋势。发光二极管、荧光数码管和等离子放电技术都已逐个突破,并开始投入生产。伴随着各种类型的中、大规模集成电路的迅速发展和数字仪表走向袖珍化的趋势,人们仍在寻求能够匹配这些电路和仪表的更加理想的显示材料和技术。液晶显示便是其中的一种。

1968年国外报道了向列型液晶可以通过动态散射模式做成显示器件,这是液晶走向实际应用的开始。这种新型显示器件,由于具有能适应低电压、低功耗的要求,加以器件结构扁平、字形可大可小、特别是不怕亮光冲刷等突出的优点,当时引起人们很大的兴趣。但是,向列型液晶在显示领域中究竟有多大的实际应用潜力,这个问题则是在通过几年来广大工人和科技工作者努力之后才逐步有所认识的。当前,国外已有批量的各种类型的液晶显示器件投入市场。在应用领域中特别显得有发展前途的是液晶显示的全电子数字石英手表以及台式(包括袖珍式)电子计算机。在其他数字仪表和尺寸较大的数字显示方面的应用,看来也有广阔的前途。但液晶显示器件也有一些缺点,如工作温度、工作寿命和响应速度还不能满足一些工作的要求。由于几年来显示方案的日益发展,液晶材料和显示器件制造工艺的不断改进,以及驱动电路和整机设计上的配合,已经证明液晶显示器件的这些弱点是可以得到克服的。从国外1974年数字显示元件的市场统计可以看到,虽然发光二极管和等离子放电管目前的产值还高于液晶显示元件,但三者的平均年增长率,却分别为发光二极管18.9%,等离子放电管18.6%,和液晶显示元件58%。发展趋势是比较清楚的。不久前,国外有的期刊预计1975年台式电子计算机的生

产总数为 1900 万台,其中 70% 将是袖珍计算机,而袖珍机中的 70% 将是用液晶显示的,预计总生产台数的 50% 将是液晶显示的台式机;还有的刊物估计,1975 年以后液晶将要成为主要的显示元件,并将占当时整个数字显示元件市场商品的五分之一。

二、技术进展

1. 液晶材料

(1) 向列液晶材料的介电特性

近几年来一般按照向列液晶的介电特性将向列液晶材料分为二类:一是正介电各向异性型(简称正介电性或 PDA,即 $\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp} > 0$),二是负介电各向异性型(简称负介电性或 NDA,即 $\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp} < 0$)。 $\Delta\epsilon$ 的符号决定了材料的用途(参见表 1), $\Delta\epsilon$ 的大小对材料的电光性能也有一定的影响[参见第(4)节]。前者主要用于扭曲型场效应和宾主效应的显示元件,后者则用于动态散射模式和电控双折射(包括垂直排列相畸变)型的显示元件,也可用于宾主效应显示。胆甾液晶与向列液晶的混合材料可用于电控相转变和记忆效应显示。此处所谓胆甾液晶并不一定是胆固醇的衍生物,也可以是分子中含有不对称中心的向列液晶化合物,即所谓掌性向列液晶。

(2) 向列材料的化学结构与其工作性能的关系

经过几年来的研究,一般认为希弗碱(即甲亚胺型)类材料在工作温度和电光性能方面都较优越,生产工序也较简便,但化学稳定性和电稳定性较差;联苯类和酯桥键类液晶材料在化学和物理稳定性方面都好一些,但前者至今还只限于正介电性类型,而后者则难于得到工作温度和电光性能都令人满意的配方;氧化偶氮类液晶材料工作温度和化学、物理稳定性都比较好,只是色泽较黄;反式二苯乙烯类色泽和电稳定性都较满意,但对紫外线却过于敏感。目前国外市场上出售的用于数字显示的向列液晶材料除上述几种类型外还有二苯乙炔类型等。

(3) 通过配方寻找新的向列材料

为了改善向列液晶材料的工作温度和电光性能,近几年来进行了大量配方研究工作,其结果是使目前液晶材料的工作温度已能达到 $-10^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ 这样一个框框内。负介电性材料通过提纯和控制掺杂之后可以改变材料的电阻率和表面排列性能,从而达到改善显示器件动态散射电光性能的目的(例如在低的工作电压下得到满意的对比度和响应速度)。

(4) 液晶材料的物理性质与显示器件电光性能的关系

目前在液晶材料的电阻率、粘度、介电常数和弹性常数与显示器件的上升时间、衰减时间(余辉)和截止频率之间,已找到下列的近似函数关系^[1-11]

$$(i) \tau_r \propto \frac{\eta d^2 \rho}{\epsilon V^2}, \quad (ii) \tau_D \propto \frac{\rho^{1/2} \eta d^2}{K}, \quad (iii) f_c \propto \epsilon^{-1} \rho^{-1}.$$

(i) 式中 τ_r = 上升时间, η = 粘度, ρ = 电阻率, ϵ = 有效介电常数, V = 工作电压, d = 液晶盒厚度。

从(i)式可见:显示器件上升时间与液晶的粘度和电阻率成正比,与液晶的有效介电常数成反比。

(ii) 式中 τ_D = 衰减时间, K = 富兰克弹性常数, ρ , η , d 与(i)式相同。

从(ii)式可见:显示器件衰减时间与液晶粘度和电阻率的平方根成正比,与液晶的富兰克弹性常数成反比。

(iii) 式中 f_c = 交流显示的截止频率, ϵ , ρ 同(i)式。

从(iii)式可见:截止频率与液晶的有效介电常数和电阻率成反比。

2. 电光和热光效应

自从 1968 年报道了向列液晶的动态散射模式电光效应以来,近几年间又发现,液晶的另外几种物理效应也可以用到显示技术中来。其中已经实际用于商品液晶显示器件的有动态散射模式、扭曲向列和垂直排列相畸变等三种效应。各种电光效应的原理以及它们在实际应用中的优缺点见表 1。

除表 1 中的几种电光效应之外,1972 年又报道了几种液晶的热光效应^[12-14],为液晶在显示领域的应用开辟了新的途径:

(1) 用向列液晶和胆甾液晶的混合物,温度保持在液晶相区域(透明),经低功率红外激光束扫描,被扫之处温度升至液相(透明),冷却时呈过冷的不透明液晶态,因此可得到白底黑字的屏幕投影文字图象。这样的图象有记忆效应(可保留 500 小时以上)。加高频(5 千赫)电压(50 伏)时图象立即被擦除。

(2) 用向列液晶在盒中排列成矩阵点,冷至液晶相温度以下,得到完整的不透明点阵图(固相)。用红外激光束选择照射,被照之点温度升至液晶相,停止照射时,这些点子冷却为过冷态的液晶相(透明),与周围未被照射的不透明点形成反差,即可得数字或文字图象(投影时为白底黑字)。然后在盒上施加电压(到 300 伏左右),这时液晶发生动态散射而变为不透明,反差消除,图象即被擦去。如将电压去除,则图象将再度出现。利用同样效应但使液晶不成矩阵点而是充满盒子时,用红外激光束扫描可得黑底白字图象(投影),

表1 向列液晶的各种电光效应简表

序号	效应名称	激励类型	材料类型 ($\Delta\epsilon$)	无电场时分子指向对盒壁的排列	电场下分子指向对盒壁的排列	阈值电压	无电场时的光学性质	电场下的光学性质	显示应用中的优缺点
1	动态散射模式 ^[13] (DSM)	电流	<0	单一方向、平行或垂直	涡流引起电流流体学骚动、分子成无序状	~7伏 (50周/秒)	透明, 正交偏振片间变暗	散射, 正交偏振片间透光	优点: 结构简单, 视角大(120°~160°) 缺点: 工作电压较高(15~40伏)
2	宾主效应 ^[6] (GH)	电场	i. >0 ii. <0	i. 平行、单一方向 ii. 垂直、单一方向	i. 垂直 ii. 平行	i. 1~1.5伏 (50周/秒) ii. ~7伏 (50周/秒)或2伏 (200周/秒)	i. 染料着色 ii. 无色或极淡色彩	i. 无色或极淡色彩 ii. 染料着色	优点: 彩色显示 缺点: 发色性不强 液晶与染料不易匹配
3	记忆效应 ^[8] (光学存储) 向列+10%胆甾 (ME或OS)	电流	<0	i. 焦锥型 ii. 格朗德让平面结构	i. 频率<600周/秒时呈焦锥型 ii. 频率>600周/秒时呈格朗德让平面结构	i. 50伏 (<600周/秒) ii. 50伏 (>600周/秒)	i. 散射 ii. 透明	i. 散射 ii. 透明	优点: 有存储性能 缺点: 工作电压较高
4	场诱导胆甾 ^[7] 向一向列相转变 (FIPC)	电场	>0	焦锥型(分子指向位于于主轴平行于盒壁的螺旋中)	垂直	盒厚12微米, 胆甾相为10%情况下为20伏左右 (50周/秒)	散射, 在正交偏振片间透光	透明, 在正交偏振片间熄灭	优点: 响应时间短(微秒级), 电流小, 可以行扫描进行大规模显示 缺点: 工作电压较高(20~100伏)
5	垂直排列 ^[9] 相畸变* (DAP或DVN)	电场	<0	垂直	平行(单一或随意方向)	约2伏 (700周/秒)	在正交偏振片间熄灭	彩色, 或在正交偏振片间透明	优点: 工作电压低(4~10伏), 功耗低 (~20微瓦/厘米 ²), 可用漫射型反射器, 对比度高(>100:1) 缺点: 视角很小(30~40°)
6	扭曲向列 ^[10] (TN)	电场	>0	平行、单一方向、扭曲一定方向	垂直	~1伏 (50周/秒)	光学活性, 将平面偏振光旋转至盒子的扭曲角度	在正交偏振片间熄灭	优点: 工作电压低(3~6伏), 对比度高(100:1), 功耗低 (<10微瓦/厘米 ²) 缺点: 视角较小(60~100°) 造价较高
7	电控双折射 ^[11] (ECB)	电场	i. <0 ii. >0	垂直 平行	按电场强度偏离垂直或平行方向	5~6伏 (1000周/秒)	在正交偏振片间熄灭	光轴转动, 引进相位差, 透射彩色光	优点: 彩色显示, 倍增能力强, 可进行矩阵扫描大规模数字文字显示 缺点: 温度与盒子厚度对色彩影响很大, 视角小

* 是电控双折射的一种特殊类型。

但擦除时不用电场,而是把光束强度稍稍减弱(温度稍低),使被照液晶成为固相(不透明),即可消除反差而达到擦除图象之目的。这是一种纯粹的热光效应。

(3) 用近晶型液晶照上述方法进行显示,可得白底黑字图象(投影),但擦除时在施加电压的同时,还要用光束照射才能达到目的。

利用上述热光效应的液晶显示装置,一般称之为光扫描光阀。通过如图1所示的系统可以投影于屏幕,做成大型投影显示装置。这种显示系统的技术性能目前可以达到如下水平:解象度50线/毫米,对比度

为20:1,写速10⁴象素/秒,储存时间在500小时以上。

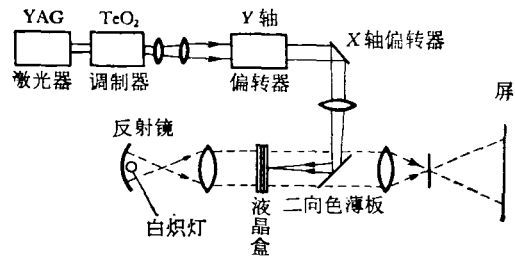


图1 大型投影显示装置系统

目前,用液晶的热光效应进行大规模字符显示的研究工作,正在许多单位积极开展。

从以上可以看出,由于这些新的物理效应的发现和应用,明显地扩大了液晶用于显示技术的可能性,使液晶显示走向更加高级的阶段。例如在低电压、微功耗情况下获得高对比度和快速响应;大规模的信息显示,以及存储显示和彩色显示等等。所以,目前已经有人把六十年代的动态散射模式称之为液晶的经典效应,而把七十年代的一些新型效应称之为进入第二代的液晶显示技术了^[13]。

3. 显示器件工艺

液晶显示器件虽然主要是由两片导电玻璃和一层液晶薄膜所组成,但要得到高质量的器件,却必须通过相当严格细致的工艺过程。近几年来,在导电玻璃制造、电极表面处理、液晶进样技术、盒子密封和电极引线等方面,都有新的发展,对器件质量有很大的提高。下面作一简略的介绍:

(1) 导电玻璃

国外近来已将氧化锡高温(500℃左右)烧结镀膜工艺改为在较低温度(200℃左右)真空溅射镀膜工艺^[14]。用钢锡合金进行反应溅射,可得到导电的氧化铟膜,氧化铟膜在较低的电阻下有较高的透光率。同时由于低温工艺、玻璃形变较小,提高了器件质量和成品率。不过,这一新工艺成本要高一些。

(2) 表面处理

液晶分子在电极表面的有序排列对显示器件的电光性能有很大的影响^[17-19]。某些电光效应要求水平排列而另一些则要求法向(垂直)排列,这已在表1中看到。同时,表面处理对器件的外观和显示对比度也都有较大的改善。过去一般是用摩擦法(用纸、皮革、棉布、丝绸、铁红粉等)造成水平排列,而用酸浴清洗法造成法向排列。近年来发现,用某些表面活性剂掺入液晶材料或直接处理电极表面可得法向排列。常用的表面活性剂包括聚酰胺树脂(Versamide 115),正十六烷基三甲基溴化铵(HTAB)以及卵磷脂^[20-22]。1972年发现,将一氧化硅或金在与法线成85°斜角情况下真空蒸发到电极表面,可得很好的表面取向以使向列液晶分子进行水平排列,并成功地制成了扭曲型显示器件^[23-24]。同年还报道了,用金刚砂摩擦法在玻璃表面形成细微沟道后也可使液晶分子呈水平排列^[25]。1973年又发现,用含硅的表面耦合剂处理电极表面时,随所用耦合剂的不同可以分别造成水平排列和法向排列,不但排列均匀,而且工作寿命也较长(因为是表面的化学结合)^[26]。最近又有报道,使用聚四氟乙烯粉(或乳液)和氟化石墨作为摩擦剂,可以方便地造

成水平排列^[27],以及用六甲基二硅氧烷进行等离子放电聚合,可在玻璃表面造成法向排列^[28]。

(3) 液晶进样技术

目前一般有三种方式:即(i)在封结空盒子时上下两端各留一个小空隙,在真空状况下液晶从一个空隙通过毛细管作用充入空盒,同时将任何残留的空气自另一空隙排出。(ii)空盒四面密封,在玻璃盒的任一面对角上各钻一个小孔,进样情况同(i)。(iii)空盒三面密封,在高真空中将盒内空气全部排除后,将足够的液晶沿未封的一面涂满,然后徐徐放入干燥氮气(或空气),将液晶压入真空盒内。无论用哪一方法,进样完毕后都应迅速用快固环氧树脂将空隙或小孔封死,并迅速使之固化。以上第(i)、(ii)法用于制造一般的小面积盒子,但(ii)法有时可能造成“死角”而导致产生气泡;(iii)法适用于制造面积较大的盒子,这样可以大大缩短进样时间(特别是在冬季低温情况下)。

(4) 盒子的密封

在早期的液晶盒子制造工艺中,采用选定厚度(6~25微米)的塑料垫圈(涤纶或聚四氟乙烯)隔开前后玻璃电极,然后在夹紧的状况下用环氧树脂在盒子四周涂封,并放置在室温或稍高的温度中让其固化。这种封结方法有三个缺点:(i)随着夹紧程度的不同,用同样厚度垫圈所封成的盒子厚度不一样,一般要比垫圈厚度大30—50%;(ii)环氧树脂在空气中放置长久后要逐渐老化发脆,甚至断裂或脱落,不能达到密封要求;(iii)环氧树脂固化前可能渗入盒子,影响显示,并可能与液晶起化学作用。因此这种方法不能满足生产的要求。近几年来国外采用了几种新的密封技术,使液晶盒的气密性提高到能够实用化的程度。这些新方法是:(i)用高频焊接法将空盒四周密封;(ii)用低熔玻璃粉作粘合剂,掺入少量选定粒度(10微米左右)的高熔玻璃粉代替垫圈,在一定温度下(400—500℃)加压封结空盒;(iii)在热塑性塑料(聚碳酸酯、聚胺基甲酸酯、聚酯或聚丙烯酸类塑料)中掺入少量选定粒度的玻璃粉,拉成单丝或薄膜,代替垫圈和粘结剂,在一定温度下(100—300℃)加压封结空盒,盒沿再用环氧树脂密封。用这些改良方法制成的液晶盒子气密性较好,厚度均匀,基本上避免了老化及化学污染问题,从而大大提高了显示器件的工作寿命。

(5) 电极引线

为了使液晶显示元件能够推广应用,要求配上定型的接插件,因此不但要求从液晶盒的一端引线,而且必须解决将后电极引线接到前电极上来的问题。目前国外采用两种方法成功地解决了这一难题,即:(i)将后电极(公用电极)沿后玻璃边缘引到适宜部位与前玻

璃上已经光刻好了的公用电极汇合,然后用银浆烧结法将二者联结;(ii)在数位较多、只宜采用动态扫描电路的情况下,将每个后电极(每字公用一个后电极),通过金属薄膜(与垫圈的厚度一样),和与之对应的前玻璃上的公用电极联结,就可引到前电极上。这样,调换一个坏的液晶显示元件时就象调换一只电灯泡一样方便了。至于液晶盒上的透明电极与驱动电路中金属插座的接触问题,有的采取直接接触,也有的通过导电橡胶作为过渡。后者的优点是接触较好而且可以防震,同时可以使厚度很薄的透明电极不易磨损。

三、评价与展望

这里从应用潜力、技术问题、生产成本和发展趋势等几个方面来讨论一下液晶数字显示技术的发展前景。

1. 应用潜力

根据几年来的生产实践和科研设想,液晶数字显示的应用途径可以分为表2中的几个方面。目前看来,在凡属野外使用的袖珍式仪表以及在明亮环境下使用的各类仪表,液晶显示器件都有很强的生命力,因为功耗特低和不怕亮光冲刷是液晶显示的独有特点,其他显示技术较难与之竞争。例如,作大型显示,辉光放电(包括等离子体)虽然也可以使用,但目前工作电压很高,在某些场合不太适宜,特别是在室外明亮环境下困难更多。在民用项目中,液晶显示的全电子数字石英手表已看到光辉的前景,由于在工作寿命和生产成本方面都已经迅速突破,因此在与机械手表或其他类型的全电子手表的对比中很有可能显出优势,当前国外已从事批量生产。液晶大屏幕电视试制工作,现在已经取得较大进展。液晶显示的袖珍式电子计算机

表2 液晶数字显示的应用潜力

应用领域	代表性产品
(1) 携带式通用性工业仪表	台式电子计算机、数字万用表、数字电压表、数字频率计、示波器数字显示等
(2) 专业性工业仪表	机床数控、水压机数控、其他配套控制(原子工业、石油化工等)、仪表数字显示、加油泵、计速器、汽车驾驶室仪表、地质仪器、飞机座舱仪表、电子秤、医疗仪器、瓦斯探测仪等
(3) 公共场所大型显示	飞机场起落牌,体育场记分牌、广告牌、医院、图书馆呼号牌、巨型挂钟(包括国际钟)等
(4) 民用项目	数字石英手表、数字台钟、照相机快门、电话显示、袖珍电子计算机、电视电话、袖珍式电视机、投影大屏幕电视等
(5) 国防项目	投影大屏幕雷达及声纳信息显示,卫星摄影机快门、护目光阀等

在国外已在商业工作中和家庭中较普遍使用。使用液晶显示方案的电视电话和袖珍电视机,今天已不只是人们的幻想。至于液晶显示用在军工方面的可能性,也是有现实意义的。

2. 技术问题

液晶显示能否发展,在很大程度上要取决于它的技术质量。从今天的水平来看,它的电光性能是基本上可以达到满意的程度的,但也只有从各个方面积极努力,精心设计,发扬优点,克服弱点,才有可能做到。

(1) 工作温度限制问题

实践证明,液晶显示器件在0℃工作与在60℃工作相比较,其上升时间和余辉都要长十倍。这个问题可以通过材料的精心选择和配方以及适当调整工作条件(电压、频率、盒厚等)来解决。目前已经有了存储温度下限在-20℃以下、上限在80℃以上的液晶配方,在0℃~60℃左右表现满意的显示性能,这在通常的工作环境中已足够应用,但在严寒的室外工作环境中有一些困难。如果功耗要求允许,可用局部加温的办法来解决。

(2) 响应速度问题

典型的液晶数字显示器件,在正常工作条件下,上升时间一般是几十毫秒,衰减时间是几百毫秒。对液晶显示器件的这一弱点,除了从工作电压加以调节外,还可以通过控制盒子厚度和电极表面处理,在材料上选择粘度和电阻率较小、介电常数和弹性常数较大的液晶配方,在电光效应上采用合适的方案(例如必要时可以采用胆甾一向列相变效应,响应速度可到微秒级),在驱动电路上采用高频擦除(即快熄灭)方案等等有效措施加以解决。这样,在适当的工作条件下,可以使上升时间保持在几毫秒,衰减时间保持在20毫秒以下,不但能够满足一般数字显示的需要,而且可以满足大规模数字显示和电视的需要。

(3) 对比度问题

通过液晶盒的表面处理、液晶材料的选择、工作电压和工作频率的调节、合理的背景和光源设计(透射型)、反射电极的合理设计(反射型),完全可以得到满意的对比度。目前在适宜的工作条件下,数字显示的黑白对比度可以达到20:1~100:1,电视显示也可达到10:1~15:1。

(4) 均匀性问题

一般在小型器件中通过控制液晶盒子厚度的均匀性和表面法向排列处理,再配上合理的后光源设计,动态散射模式(透射型)可得良好的均匀度。厚度均匀的

小型盒子经过极为仔细的水平排列表面处理,再用特制的均匀后光源,可使扭曲型液晶显示得到良好的均匀性(注意要使前后偏振片正交或平行,如斜交时会出现彩虹)。在大型显示器件中,必须严格控制盒子厚度的均匀性以及各个显示片段的阻抗均匀性,才能得到良好的均匀度。

(5) 视角问题

透射型动态散射模式视角一般可达到 160° ,能够满足使用要求,特别适用于室内大型数字显示。反射型动态散射模式视角约在 120° 左右,宜于室外大型显示,但要注意显示器件的安放位置,并采取造成黑色背景的措施,以避免金属后电极直接反光刺眼而冲刷显示。由于观察方向可以随意调节,携带式小型显示的视角一般都不成问题(反射型当然也需要全黑背景)。扭曲型器件,由于使用偏振片,限制了视角,沿着显示屏的法向看去,对比度很好,但随着偏离角度的增加,对比度就逐渐减小,直到完全看不见字形。扭曲型器件的视角一般在 100° 以下。

(6) 工作电压、工作频率和功耗问题

为了得到可以接受的对比度,动态散射模式工作电压一般在15伏至40伏,视盒子厚度、液晶材料电阻率及字形大小而定;反射式微型显示有时还可降到10伏左右。扭曲型器件工作电压一般在5~9伏即可得到良好对比度。近来国外液晶显示全电子手表的工作电压,甚至有低到1.5伏~3伏的(反射式扭曲型场效应)。在交流驱动方式中,工作频率对显示质量也有很大影响。在得到一定的对比度的前提下,频率与工作电压成正变关系,而且必须在 $f < f_c$ 情况下才能达到显示目的(f_c 为临界频率或截止频率)。目前在动态散射型器件中,随所用工作电压的不同及材料电阻率的不同,工作频率大约在20~100赫;但在扭曲型器件中,工作频率范围却要宽广得多,一般在50~10,000赫均可。器件的功耗取决于显示的类型、工作电压和数字片段的阻抗。动态散射模式是电流效应,而扭曲型是电场效应,而且后者的工作电压较低,片段阻抗较高(材料电阻率较高),故前者的电流密度和功耗要比后者大1~2个数量级。一般情况是扭曲型器件功耗在1~10微瓦/厘米²,而动态散射器件功耗在100~500微瓦/厘米²范围。

(7) 工作寿命问题

影响液晶显示器件工作寿命的因素是多方面的,但主要是由于有机材料在不利的情况下发生化学分解、电分解和光分解,以及液晶盒漏气等。针对这些因素,可以采取以下措施来加以克服:1)选择化学结构比较稳定的液晶材料,例如联苯型和氧化偶氮型对水

汽、电流和紫外光都比较稳定;2)保证液晶盒的气密性,可以防止外界水汽和其他化学物质的侵袭。此外,所用的掺杂添加剂、表面活性剂以及封结剂,都要保证不与液晶起化学作用;3)在驱动电路中采用纯交流电路(即避免或尽量减少直流份量),可以防止直流电解;4)对紫外线袭击,一般通过液晶盒玻璃过滤可以基本避免,有必要时还可以在液晶盒玻璃外表面镀一层抗紫外的表面涂层,以进一步延长工作寿命。此外,在工作中使用较低电压,并使用电阻率较高的液晶材料,也可以延长工作寿命。因此,在同样采取上述四种预防措施的情况下,扭曲型器件的工作寿命要比动态散射器件长些。目前,国外报导,在交流驱动情况下,动态散射器件的寿命一般可达一万小时以上,场效应器件可达三年以上。根据加速试验结果,估计可达5~10年。直流驱动情况下,一般是在一千小时以下,但使用联苯液晶的场效应器件,目前已提高到三千小时左右,甚至有宣称可达一万小时的。由于工艺和材料方面的改进,估计液晶数字显示器件的工作寿命将会迅速有大幅度的提高。

(8) 接插件问题

为了液晶显示器件的推广应用,工业生产中必须解决接插件的问题。由于器件是扁平形,而且随着屏上字数的多少,引出电极数目有很大的差别(单位数器件有8~9个引出电极,而用于台式机的十位数屏,加上其他符号,一般就有100个左右的引出电极),同时由于所用玻璃厚度有几种规格,以及字形大小各不相同(从而引出电极大小不同),插座的设计和将是一个相当复杂的问题。对于这样的困难,国外曾从几方面来加以解决:一是致力于在电路上实现倍增以减少接线数目,另一方面是在插座设计上采用单面接触方案,这样玻璃厚度不同的显示屏就可以公用一种插座。还有一种方法是在硅橡胶棒上嵌入一些与器件所引出电极相匹配(数目、宽度、间距)的导电橡胶圈,这样就能使器件上的引出电极与电路中的印刷板电极紧密接触。用这种方案制造插座工艺简单,灵活性强。

(9) 整机设计问题

电路设计和光路设计是影响整机显示质量和工作寿命的主要问题。电路方面可按显示的需要和技术上的可能采用静态驱动或动态扫描。一般是在高信息载容量显示和线路倍增能力强的情况下采用动态扫描,但要防止交叉效应。同时,这种方式对液晶材料的响应速度要求较高。为了保证器件的工作寿命,目前都尽量使用交流驱动,不过要注意适当调节电压和频率,以求达到最佳效果。在光路方面,透射式动态散射模式可用位置和亮度适当的斜后方光源,透射式扭曲型

器件可用均匀的正后方光源，最好在光源前面加一个散射介质膜以扩大视角。全反射的动态散射器件应造成黑色背景，反射式扭曲和 DAP 型器件可用漫射性反射电极以防止反光和冲刷。

3. 生产成本

液晶显示元件主要是由二片刻有字形的导电玻璃和一薄层液晶材料所组成。总的说来，生产成本应当是比较低的，但也随着显示类型、器件大小、导电玻璃质量和液晶材料的不同而有相当的差别。有人认为导电玻璃是成本的主要部份。液晶材料价格虽然不低，但消耗有限（一个小型显示元件只需几滴）。从趋势看，随着产量的增加，显示元件的价格还会进一步降低。目前液晶显示仪表的价格也正在逐步下降。

4. 发展趋势

液晶显示技术近几年来正在向更高级的阶段进军。一是彩色显示，二是大规模字符显示，三是活动图象显示。下面作一简略介绍：

(1) 彩色显示

过去曾企图用宾主效应和电控双折射来实现，但都碰到一些困难（简况见表 1）^[6,11]。1973—1974 年德国^[29]和英国^[10]分别报道了使用扭曲向列液晶和复合双折射膜相结合的方案，可以得到透射型或反射型的光控彩色显示器件。也可用二色染料与拉伸高分子薄膜相匹配的方案，来实现效果较好的宾主彩色效应^[29]。最近国外更报道了只用二色染料与胆甾-向列液晶混合物而不用偏振片的新型反射式宾主效应，色泽鲜艳，对比度好^[31]。还试验成功使用 DAP-TN 结构的彩色数字显示，据称可以改进透射光色彩控制^[32]。又报道了用光导液晶盒的双折射效应所制成的彩色图象转换器^[33]。

(2) 大规模字符显示

1972 年曾有报导，使用电控双折射的 50×50 点矩阵扫描式彩色数字显示，证明这一方案是可行的^[3,11]。1973 年报道了利用胆甾-向列相变原理的矩阵显示器件（3500 象素）^[34]，性能满意。还报道了使用液晶热光-电光效应的显示器件，用红外激光扫描书写，并用电场擦除，可以进行大规模字符显示^[12-14]。

(3) 活动图象显示

国外^[35,36]曾经报道试制成功利用光导体和液晶相匹配的投影大屏幕电视方案（前者主要想用于电视电话），可以解决响应速度较慢的困难。最近报道使用一种特殊液晶的双频显示方案，也可以解决液晶用于电视的响应速度问题^[37]。

从以上可以看到，液晶数字显示这一新技术，在国外经过十多年的工作之后，已经开始应用到生产实际中去，当然也还存在着不断提高的问题。在国内，几年来液晶显示研究也已取得了一定的成绩。我们要继续积极发扬“独立自主、自力更生”的精神，敢于“破除迷信，解放思想”，努力钻研，大搞协作，要在液晶显示领域中迅速赶超世界先进水平。



1. 向列型液晶

是数字显示器件中使用的主要液晶材料。它的长形分子始终保持平行排列，但可以上下、前后、左右移动，也可以沿分子长轴方向转动，所以称为向列液晶。正象铅笔盒里放着的一些铅笔，可以在盒内随意滑动或滚动，但始终是相互平行的情况一样。由于这种有序排列是短程的，所以向列液晶的大块样品呈浑浊状态（光的折射率随分子排列方向而连续变化，使光发生有效散射），而薄层的向列液晶（100 微米以下）却是透明的。

2. 胆甾型液晶

一般指从胆甾醇（即胆固醇）衍生出来的一类液晶，它是向列液晶的一种特殊类型。由于分子构型关系，它排列成层，每层中分子平行排列，与向列液晶一样，但与邻层中分子的取向稍有偏离。这样从整个结构上说，胆甾型液晶便形成一种螺旋结构，分子长轴取向相同的层之间的距离称为螺距。基于这种螺旋结构，胆甾型液晶有两个特点：一是有很大的旋光能力，二是液晶薄膜随着细微的温度变化或与某些蒸气接触而呈鲜艳的色彩变化。

3. 动态散射模式

将薄层的向列液晶作为电介质封入两块导电平板玻璃（通常是在玻璃上镀有二氧化锡透明导电膜）中间，做成液晶盒（液晶层厚度约为 10~20 微米），则盒子看上去是透明的。如果在电极上施加 20~40 伏的电压，原来透明的盒子立即变为乳浊，象磨砂玻璃一样。将电源切断后液晶盒很快又恢复透明。这种电光现象称为向列液晶的动态散射模式。详细情况和原理参看本文表 1 和本刊 2-2(1973)，86—87。

4. 扭曲型场效应

将经过水平排列表面处理的二片导电玻璃，按玻璃上沟槽方向，成 90° 角对面重叠做成盒子，充入正介电性液晶，在玻璃盒两面各加一层偏振片进行观察。由于盒内水平排列的液晶分子，从上层到下层逐步发生 90° 的扭曲（长轴方向），使入射的偏振光通过液晶盒时振动面被扭转 90° 。因此，在无电场情况下，前后偏振片正交时盒子透明，而平行时则成黑暗。如在电

极上施加电场(5伏左右),则液晶分子长轴变为沿电场方向排列,即垂直于玻璃表面,从而失去旋光能力。这时有正交偏振片的盒子将变成黑暗,而有平行偏振片的盒子将变成透明。这种电光现象称为扭曲型场效应。

5. 垂直排列相畸变

将负介电性向列液晶在液晶盒中做成垂直排列。玻璃盒上下两面用正交偏振片进行观察,盒子是黑暗的。在字形电极上施加电场(几伏)后,电极上的液晶分子取向沿电场方向偏转,变成近似水平排列,从而在正交偏振片间出现黑底白字,对比度很高。这种电光效应称为垂直排列相畸变。

6. 宾主效应

在向列液晶(主体)中掺入少量二色性染料(宾体),则长形染料分子将随液晶分子长轴方向而取向。由于二色性染料的光吸收,是随染料分子轴与光波传播方向的相对位置而定的,如用偏振光入射,则平行时不吸收光(无色),垂直时吸收强(呈染料颜色)。这样,在无电场情况下,染料与负介电性液晶匹配而呈法向排列时盒子无色,染料与正介电性液晶匹配而呈水平排列时盒子呈染料颜色。在导电层光刻成字形的情况下,施加电场时由于分子转向,前者可看到白底彩色字,后者可看到彩色底白字。这称电光效应就是所谓宾主效应。

参 考 文 献

[1] Jakeman, E., Raynes, E. P., *Phys. Lett.* **39A** (1972), 69—70.
 [2] Koelmans, H., Van Boxtel, A. M., *Phys. Lett.* **32A** (1970), 32.
 [3] Heilmeyer, G. H., Zanoni, L. A., Barton, L. A. *Proc. IEEE*, **56-7** (1968), 1162—1171.
 [4] 松本正一,《东芝评论》,23-11 (1973), 1276—1281.
 [5] Kashnow, R. A., Cole, H. S., *J. Appl. Phys.*, **42-5** (1971), 2134.
 [6] Heilmeyer, G. H., Zanoni, L. A., *Appl. Phys. Lett.*, **13-3** (1968), 91—92.
 [7] Wysocki, J. J., Adams, J., Hass, W., *Phys. Rev. Lett.*, **20** (1968), 1024.
 [8] Heilmeyer, G. H., Goldmacher, J. E., *Proc. IEEE*, **57-1** (1969), 34—38.
 [9] Schiekl, M. F., Fahrenscho, K., *Appl. Phys. Lett.*, **19-10** (1971), 391. 译文载《国外信息显示》1972年第2期,4—6页,参见: *Electronics*, 1971年25期及 *Electronic Design*, **20-3** (1972), 36.
 [10] Schadt, M., Helfrich, W., *Appl. Phys. Lett.*, **18-4** (1971), 127—8.
 [11] (1) Greubel, W., Wolff, U., *Appl. Phys. Lett.*, **19-7** (1971), 213—215.
 (2) Kahn, F. J., *Appl. Phys. Lett.*, **20-5** (1972),

199—201.

(3) Hareng, M., Assouline, G., Leiba, E., *Electronics Lett.*, **8-2** (1972), 45—46; *Proc. IEEE*, **60-7** (1972), 913. 前一篇的译文见《国外信息显示》1972年第4期,1—2页。
 [12] 《电子杂志》(日本) **18-3** (1973), 314.
 [13] 佐佐木昭夫,高木俊宜,《应用物理》 **42-6** (1973), 641—645;《电子技术》 **16-1** (1974), 37—41.
 [14] Mayden, D., Melchior, H., Kahn, F. J., *Conf. Rec. 1972 IEEE Cont. Display Devices*, 166—168; *Appl. Phys. Lett.*, **21** (1972), 392—394.
 [15] 高木俊宜,佐佐木昭夫,《电子材料》(日本), **-3**(1973), 129;-4 (1973), 67—74.
 [16] Gillery, F. H., *USP* 3,506,556; *Information Display*, **9-1** (1972).
 [17] Kahn, F. J., Taylor, G. N., Schonhorn, H., *Proc. IEEE*, **61-7** (1973), 823—828.
 [18] Nagasaki, O., Sukigara, M., Honda, K., 《化学の领域》(日本) **25-6** (1972), A23—A26.
 [19] Helfrich, H., *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **21-3/4** (1973), 187—209.
 [20] Hass, W., Adams, J. E., Flanery, J. B., *USP* 3,687,515 (1972). *Phys. Rev. Lett.*, **25** (1970) 1326.
 [21] Proust, J. E., *Solid State Commun.* **11-9** (1972), 1227.
 [22] Haller, L., Huggins, H. A., *USP* 3,656,834, (1972, 4, 8).
 [23] Janning, J. L., *Appl. Phys. Lett.*, **21-4** (1972), 173—174.
 [24] Dixon, G. D., Brady, T. P., Hester, W. A., *Appl. Phys. Lett.*, **24-2** (1974), 47—49.
 [25] Berreman, D. W., *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **23-3/4** (1973), 215—231 (1972年在第四届国际液晶会议上首次报告).
 [26] Kahn, F. J., *Appl. Phys. Lett.*, **22-8** (1973), 386—388.
 [27] 日本精工舍,《法国专利》2,175,180 (1973, 11, 23).
 [28] Dubois, J. C., *Appl. Phys. Lett.*, **24-7** (1974), 297.
 [29] Schetter, T. J., *J Appl Phys.*, **44-11** (1973), 4799—4803.
 [30] Shank, I. A., *Electronics Lett.*, **10-7** (1974), 90—91.
 [31] White, D. L., Taylor, G. N., *J. Appl. Phys.*, **45-11** (1974), 4718—4723.
 [32] Sato, S., Wada, M., *IEEE Trans. Electronic Devices*, **21-5** (1974), 312—313.
 [33] Assouline, G., *Compt. Rend (France) Ser. B.*, **274-10** (1972), 692—694.
 [34] Ohtsuka, T., Tsukamoto, M., Tsuchiya, M., *Jap J. Appl. Phys.*, **12-3** (1973), 371—378.
 [35] *Electronics*, -11 (1970), 33.
 [36] *Proc. IEEE*, **59-9** (1971), 1355.
 [37] Shanks, I., *Electronic Engineering*, **46** (558), (1974), 30—37.